



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002261032 A**(43) Date of publication of application: **13.09.02**

(51) Int. Cl.

H01L 21/205**H01L 33/00****H01S 5/323**(21) Application number: **2001185037**(22) Date of filing: **19.06.01**(30) Priority: **19.06.00 JP 2000183707**
28.12.00 JP 2000402378(71) Applicant: **NICHIA CHEM IND LTD**(72) Inventor: **KIYOHISA HIROYUKI**
MAEKAWA HITOSHI
OZAKI NORIYA
CHIYOUCHIYOU KAZUYUKI(54) **NITRIDE SEMICONDUCTOR SUBSTRATE AND ITS MANUFACTURING METHOD AND NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE USING THE SAME**

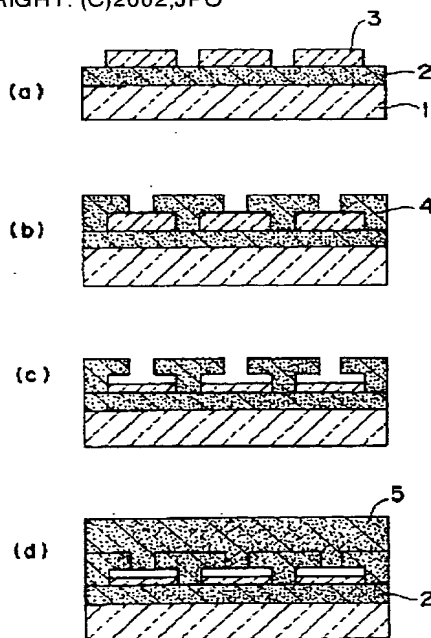
surface and a growth section in a horizontal direction.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for growing a nitride semiconductor substrate that involves a nitride semiconductor used in a light-emitting device such as a light-emitting diode and a laser diode, or a light receiving element such as a solar cell and a photosensor, reduces crystal defects of a substrate especially made of the nitride semiconductor, and has excellent crystallizability.

SOLUTION: A partial stripe- or lattice-like protection film is formed on a support substrate, a first nitride conductor is grown in a horizontal direction on the protection film from a support substrate exposure section, the growth is stopped while the protection film is not being covered, and the protection film is removed for forming space at the lower section of the first nitride semiconductor that is grown in the horizontal direction. After that, a second nitride semiconductor is grown from the upper surface of the first nitride semiconductor, or a side that is set to the upper



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-261032

(P2002-261032A)

(43) 公開日 平成14年9月13日 (2002. 9. 13)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

5 F 0 4 1

33/00

33/00

C 5 F 0 4 5

H 0 1 S 5/323

6 1 0

H 0 1 S 5/323

6 1 0

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2001-185037 (P2001-185037)

(71) 出願人 000226057

(22) 出願日 平成13年6月19日 (2001. 6. 19)

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(31) 優先権主張番号 特願2000-183707 (P2000-183707)

(72) 発明者 清久 裕之

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

(32) 優先日 平成12年6月19日 (2000. 6. 19)

学工業株式会社内

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 前川 仁志

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

(31) 優先権主張番号 特願2000-402378 (P2000-402378)

学工業株式会社内

(32) 優先日 平成12年12月28日 (2000. 12. 28)

(74) 代理人 100074354

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

弁理士 豊栖 康弘 (外1名)

特許法第30条第1項適用申請有り 2001年3月28日

(社) 応用物理学会発行の「2001年 (平成13年) 春季
第48回応用物理学関係連合講演会予稿集」に発表

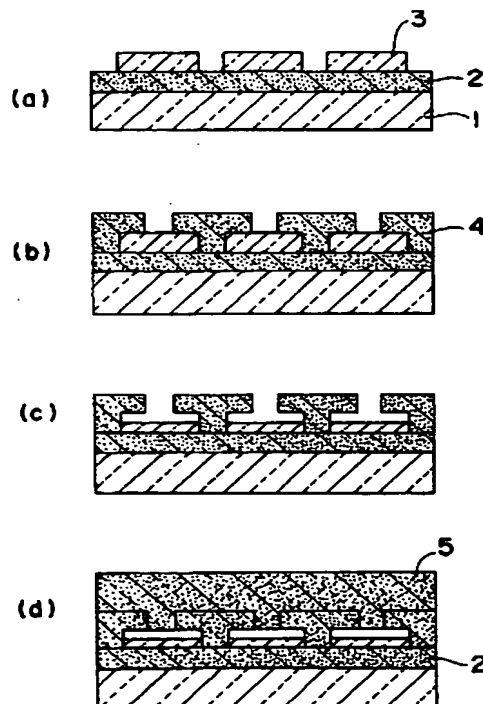
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体基板及びその製造方法、並びにその窒化物半導体基板を用いた窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 発光ダイオード、レーザダイオード等の発光素子、あるいは太陽電池、光センサー等の受光素子に使用される窒化物半導体に係わり、特に窒化物半導体よりなる基板の結晶欠陥を低減させ、結晶性に優れた窒化物半導体基板の成長方法に関する。

【解決手段】 支持基板上に、部分的にストライプ状又は格子状の保護膜を形成し、前記支持基板露出部より保護膜上に第1の窒化物半導体を横方向成長させて前記保護膜を覆わない状態で止め、保護膜を除去することにより横方向成長した第1の窒化物半導体の下部に空間を形成し、その後、第1の窒化物半導体の上面、又は上面及び横方向成長部分である側面より第2の窒化物半導体を成長させる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 支持基板と、前記支持基板表面の周期的なストライプ状、格子状、又は島状の部分を成長起点として横方向成長し、互いに接合する前に横方向成長を停止することにより周期配列された T 字状断面を有する第 1 の窒化物半導体層と、前記第 1 の窒化物半導体層の上面、又は上面及び横方向成長した側面を核として成長し、支持基板全面を覆う第 2 の窒化物半導体層とを備え、

前記第 2 の窒化物半導体層が互いに接合する部分の下に空間が形成されていることを特徴とする窒化物半導体基板。

【請求項 2】 前記第 1 の窒化物半導体層が、周期的なストライプ状、格子状、又は島状の窓部を有する保護膜を介して前記支持基板上に成長されたことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体基板。

【請求項 3】 前記格子状の窓部に囲まれた保護膜が、円形又は多角形であることを特徴とする請求項 2 に記載の窒化物半導体基板。

【請求項 4】 支持基板上に、前記支持基板表面の周期的なストライプ状、格子状、又は島状の部分を成長起点として横方向に成長させた窒化物半導体層を有する窒化物半導体基板において、各成長起点から横方向に成長した窒化物半導体層同士が、互いに接合せずに、隙間を有して配列していることを特徴とする窒化物半導体基板。

【請求項 5】 前記窒化物半導体層が、周期的なストライプ状、格子状、又は島状の窓部を有する保護膜を介して前記支持基板上に成長されたことを特徴とする請求項 4 記載の窒化物半導体基板。

【請求項 6】 前記格子状の窓部に囲まれた保護膜が、円形又は多角形であることを特徴とする請求項 5 に記載の窒化物半導体基板。

【請求項 7】 前記支持基板が、異種基板の全面に窒化物半導体層を成長して形成されたことを特徴とする請求項 1 又は 4 に記載の窒化物半導体基板。

【請求項 8】 前記支持基板が、異種基板上に、バッファ層を介して窒化ガリウム層と窒化アルミニウムガリウム層とを成長して形成されたことを特徴とする請求項 1 又は 4 に記載の窒化物半導体基板。

【請求項 9】 前記支持基板が、異種基板上に、バッファ層を介して窒化ガリウム層と窒化インジウムガリウム層とを成長して形成されたことを特徴とする請求項 1 又は 4 に記載の窒化物半導体基板。

【請求項 10】 前記支持基板の一部又は全部が除去されたことを特徴とする請求項 1 又は 4 記載の窒化物半導体基板。

【請求項 11】 前記保護膜が、酸化ケイ素、窒化ケイ素、酸化チタン、酸化ジルコニウム、これらの多層膜、又は 1200℃以上の融点を持つ高融点金属膜であるこ

とを特徴とする請求項 2 又は 5 に記載の窒化物半導体基板。

【請求項 12】 支持基板上に、前記支持基板表面の周期的なストライプ状、格子状、又は島状の部分を成長起点として横方向成長した窒化物半導体層を備え、前記窒化物半導体層が隣接する成長起点から成長した窒化物半導体層と互いに接合していない窒化物半導体基板と、前記窒化物半導体基板上に直接形成された n 型コンタクト層と、を有する窒化物半導体素子。

10 【請求項 13】 支持基板上に、ストライプ状、格子状、又は島状の窓部を有する保護膜を形成し、前記支持基板露出部より保護膜上に第 1 の窒化物半導体を横方向成長させて前記保護膜を覆わない状態で止め、保護膜を除去することにより横方向成長した第 1 の窒化物半導体の下部に空間を形成し、その後、第 1 の窒化物半導体の上面、又は上面及び横方向成長部分である側面より第 2 の窒化物半導体を成長させることを特徴とする窒化物半導体基板の製造方法。

20 【請求項 14】 支持基板上に、ストライプ状、格子状、又は島状の窓部を有する保護膜を形成し、前記支持基板露出部より保護膜上に窒化物半導体を横方向成長させて前記保護膜を覆わない状態で止めることを特徴とする窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 15】 前記保護膜を除去することにより、横方向成長した窒化物半導体の下部に空間を形成することを特徴とする請求項 14 記載の窒化物半導体基板の製造方法。

30 【請求項 16】 前記支持基板が、異種基板の全面に窒化物半導体を成長して形成されたことを特徴とする請求項 13 又は 14 記載の窒化物半導体基板。

【請求項 17】 前記保護膜を除去する方法は、エッチング又は剥離であることを特徴とする請求項 13 又は 15 に記載の窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 18】 前記保護膜を、前記支持基板が露出するまで除去することを特徴とする請求項 13 又は 15 に記載の窒化物半導体基板の製造方法。

40 【請求項 19】 前記保護膜は、酸化ケイ素、窒化ケイ素、酸化チタン、酸化ジルコニウム、これらの多層膜、又は 1200℃以上の融点を持つ高融点金属膜であることを特徴とする請求項 13 又は 14 に記載の窒化物半導体基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) の成長方法に係り、特に窒化物半導体基板となり得る窒化物半導体の成長方法に関する。

【0002】

50 【従来の技術】 近年、サファイア、スピネル、炭化ケイ素のような窒化物半導体と格子定数の異なる異種基板上

に、窒化物半導体を成長させる研究が種々検討されている。

【0003】例えば、JPN. J. Appl. Phys. Vol. 37 (1998) pp. L309-L312にはELOG (Epitaxial lateral overgrowth GaN) の成長方法として、サファイアのC面上に成長させた窒化物半導体上にSiO₂等の保護膜を部分的に形成し、この上に、100 Torrの減圧で、窒化物半導体を成長させることにより、転位の少ない窒化物半導体を得ることを開示している。このようなELOG成長は、保護膜を形成し意図的に窒化物半導体を横方向に成長させることにより、転位が窒化物半導体の成長と共に進行すると、転位は保護膜を有しない部分上にのみ発生するため、保護膜上には転位欠陥の少ない窒化物半導体を形成することができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記に示す保護膜を形成し窒化物半導体を横方向に成長させることにより得られる窒化物半導体は、保護膜上部には転位欠陥が少ない窒化物半導体を得られるが、SiO₂等の保護膜はストライプ幅を広く形成する場合、保護膜上において窒化物半導体の横方向成長が進まず、異常成長を引き起こすことがあった。

【0005】また、保護膜両側に露出した窒化物半導体を成長起点として横方向に成長した窒化物半導体は、保護膜中央部で互いに接合するが、窒化物半導体を気相成長法によって横方向成長させた場合には、接合部に局所的に転位が集中する。これは、1つにはSiO₂等の保護膜上を横方向に成長する窒化物半導体の成長面がチルトすることに起因している。このような窒化物半導体基板上にエピタキシャル成長によって素子層を形成していく場合、素子層成長のための基板昇温過程において、転位が集中している接合部に窒素脱離による微細なピットが発生し易く、さらにエピタキシャル成長を続けることによりピットが大きく成長してしまう。

【0006】このため、気相成長法を用いた保護膜上の横方向成長により連続した1枚の窒化物半導体基板を形成しても、一般的な単結晶基板と同様に扱うことはできず、半導体レーザの活性層等は接合部周辺を大きく避けて形成する必要があるために素子形成のための十分な領域を確保することが困難であり、素子寿命も十分ではなかった。しかも、接合して1枚の基板となった窒化物半導体基板は外見上一様であるため、基板上面から接合部を認識して、その後の素子パターン形成を精度良く行うことは容易ではなかった。

【0007】さらに、サファイア等の上に保護膜を用いて窒化物半導体を横方向成長させて連続した1枚の窒化物半導体基板を作製した場合、熱膨張係数の互いに異なるサファイア、保護膜、窒化物半導体層が積層した構造となるため、作製した窒化物半導体基板に反りが発生し

やすかった。

【0008】またさらに、サファイア基板等の異種基板を最終的に除去して窒化物半導体基板を作製する場合もあり、その場合の異種基板の除去手法として、異種基板を研磨する手法や、異種基板と窒化物半導体の界面にエキシマレーザを照射して界面の化学結合を切断する手法が用いられる。しかしながら、研磨やエキシマレーザによる除去には処理時間がかかる等の問題があり、サファイア等の異種基板の除去が容易ではなかった。

10 【0009】そこで、本発明の目的は、保護膜を用いた横方向成長によって作製された窒化物半導体基板において、保護膜上を横方向成長した窒化物半導体層が接合することにより素子に与える悪影響を抑制することのできる、新たな基板構造を提供することにある。また、窒化物半導体基板における反りを抑制し、窒化物半導体基板からの異種基板の除去を容易にすることも目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために、第1の発明に係る窒化物半導体基板は、支持基板と、前記支持基板表面の周期的なストライプ状、格子状、又は島状の部分を成長起点として横方向成長し、互いに接合する前に横方向成長を停止することにより周期配列されたT字状断面を有する第1の窒化物半導体層と、前記第1の窒化物半導体層の上面、又は上面及び横方向成長した側面を核として成長し、支持基板全面を覆う第2の窒化物半導体層とを備え、前記第2の窒化物半導体層が互いに接合する部分の下に空間が形成されていることを特徴とする。

30 【0011】かかる構造を有する窒化物半導体基板は、例えば、支持基板上に、ストライプ状、格子状、又は島状の窓部を有する保護膜を形成し、前記支持基板露出部より保護膜上に第1の窒化物半導体を横方向成長させて前記保護膜を覆わない状態で止め、保護膜を除去することにより横方向成長した第1の窒化物半導体の下部に空間を形成し、その後、第1の窒化物半導体の上面、又は上面及び横方向成長部分である側面より第2の窒化物半導体を成長させることにより製造することができる。ここで、前記支持基板は、サファイア等の異種基板であっても、異種基板の全面に窒化物半導体層を成長させたものであっても良い。支持基板としてサファイア等の異種基板を直接用いる場合は、第1の窒化物半導体を成長する前に低温成長バッファ層を異種基板上に成長することが好ましい。また、第2の窒化物半導体層が、第1の窒化物半導体層の上面から成長する場合、保護膜を除去しなくても第2の窒化物半導体層は空間上で接合することとなるため、保護膜の除去工程を省略することもできる。

50 【0012】上記の如く、保護膜上の横方向成長を、第1の窒化物半導体が互いに接合する前に止め、その後、第2の窒化物半導体を空間上で成長させて互いに接合さ

せることにより、保護膜を広く形成しても、結晶表面に空隙を形成しない窒化物半導体を成長させることができる。また、第2の窒化物半導体は空間上を進行するため、第2の窒化物半導体を第1の窒化物半導体側面から成長させる時に発生する応力を抑制することができる。さらに保護膜上を進行する場合のような結晶成長面のチルト現象がないため、接合部における転位の集中が緩和される。

【0013】また、第2の窒化物半導体層の接合部下方に窒化物半導体と光屈折率の大きく異なる空間が存在するため、基板全面を覆う第2の窒化物半導体層の上面からでも接合部の位置を認識することが容易である。そして、この空間が歪を緩和する役割を果たすため、異種基板と窒化物半導体層の間の熱膨張係数差による反りが緩和される。

【0014】さらに、支持基板上において窒化物半導体層が不連続な柱状構造によって支持される構造となるため、窒化物半導体層と支持基板との間の接合強度が低下する。したがって、従来のエキシマレーザや研磨による支持基板（異種基板）の除去手法に加えて、振動や熱衝撃による機械的な剥離手法によって支持基板を除去することも可能となる。例えば、本発明に係る窒化物半導体基板を支持基板の裏面から研磨すると、研磨時の機械的振動によって支持基板の全体が剥離する。こうした機械的な剥離手法によれば短時間での支持基板の除去が可能となる。尚、機械的手法では剥離する界面が多少ばらつく場合があるが、剥離後に基板裏面の研磨を行うことによって均一な窒化物半導体基板を得ることができる。

【0015】前記支持基板として、サファイア等の異種基板の全面に窒化物半導体層を成長させたものを用いる場合、成長させる窒化物半導体層として、(a)次に成長される窒化物半導体層よりも低温で成長された窒化物半導体バッファ層（以下、低温成長バッファ層）、

(b)低温成長バッファ層を介して成長した窒化ガリウム層、(c)低温成長バッファ層を介して成長した窒化ガリウム層に窒化アルミニウムガリウム層を積層したもの、又は(d)低温成長バッファ層を介して成長した窒化ガリウム層に窒化インジウムガリウム層を積層したもの、等を用いることができる。

【0016】中でも、(c)低温成長バッファ層を介して窒化ガリウム層を積層し、さらに窒化アルミニウムガリウム層を積層したものを用いると、その後の工程における支持基板表面の窒化物半導体層の分解を抑制して、支持基板表面に発生するV字状溝の発生を防止することができる。また、窒化ガリウム層と窒化アルミニウムガリウム層との間の熱膨張係数差により生ずる応力を積極的に利用して、支持基板の剥離を容易とすることができる。一方、(d)低温成長バッファ層を介して窒化ガリウム層を積層し、さらに窒化インジウムガリウム層を積層したものを用いることにより、窒化インジウムガリウ

ムの膜強度が窒化ガリウム層等に比べて弱いことを利用して、支持基板の剥離を容易にすることができる。

【0017】また、支持基板上に保護膜を介して第1の窒化物半導体層を成長させる場合、保護膜にストライプ状、格子状又は島状の窓部を形成するが、中でも、格子状又は島状の窓部を形成することが好ましい。窓部を格子状又は島状とすることにより、第1の窒化物半導体層の成長方向が多方向となり、支持基板の剥離が容易となる。また、さらに言えば、格子状の窓部を形成して窓部に囲まれた保護膜の形状を多角形又は円形とすることが好ましい。保護膜の形状を多角形又は円形とすることにより、多角形又は円形の保護膜周囲から中心に向かって第2の窒化物半導体層が成長するため、第2の窒化物半導体層の接合部が保護膜の中心の一点となり、転位の集中する接合部の面積を最小限に抑制することができる。

【0018】保護膜は第1の窒化物半導体層の成長後に除去するが、少なくとも第2の窒化物半導体層の接合部下方に空間を形成するように保護膜を除去すれば良く、必ずしも完全に保護膜を除去する必要はない。例えば、保護膜全体の膜厚を減少させても、接合部下方のみ保護膜を除去して良い。

【0019】保護膜を除去する方法には、ドライエッチング又はウェットエッチングを用いることができ、どちらの方法も窒化物半導体の結晶性を低下させることなく保護膜を除去することができる。さらに、ドライエッチングは、保護膜を除去する深さを簡単に制御することができる。

【0020】また、保護膜を支持基板表面が露出するまで除去し、第1の窒化物半導体の横方向成長部分である上面及び側面より第2の窒化物半導体を成長させることにより、SiO₂等の保護膜が保護膜上に成長する窒化物半導体の成長時に分解することによる問題、即ち、窒化物半導体の異常成長や結晶性の低下等の問題を抑制することができる。

【0021】保護膜に酸化ケイ素、窒化ケイ素、酸化チタン、酸化ジルコニウム、これらの多層膜、又は1200℃以上の融点を持つ高融点金属膜を用いる。これらの保護膜材料は、その表面に窒化物半導体が成長しないか、成長しにくい性質を有するため、保護膜上に窒化物半導体を横方向成長させるのに好ましい。

【0022】また、本件第2の発明に係る窒化物半導体基板は、支持基板上に、前記基板表面の周期的なストライプ状又は格子状の部分成長起点として横方向に成長させた窒化物半導体層を有する窒化物半導体基板において、各成長起点から横方向に成長した窒化物半導体層同士が、互いに接合せずに、隙間を有して配列していることを特徴とする。

【0023】即ち、本発明に係る窒化物半導体基板は、従来のいわゆる「横方向成長基板」の常識に反して、横方向成長した窒化物半導体層が互いに接合せず、隙間を有

して配列していることを特徴とする。本件発明者等は、このように横成長層同士の間に隙間を有する窒化物半導体基板の上においても、気相エピタキシャル法によってレーザやLEDなどの素子用の結晶を平坦にエピタキシャル成長することが可能であり、しかも、転位の集中する接合部のない状態でエピタキシャル成長を開始するため、従来問題となっていた基板昇温時における窒素脱離によるピットの発生がなく、むしろ従来よりも平坦で結晶性に優れた素子層の成長が可能であることを見出した。

【0024】上記構造を有する窒化物半導体基板は、例えば、支持基板上に、部分的にストライプ状又は格子状の保護膜を形成し、前記支持基板露出部より保護膜上に窒化物半導体を横方向成長させて前記保護膜を覆わない状態で止めることにより製造することができる。ここで、前記支持基板は、サファイア等の異種基板であっても、異種基板の全面に窒化物半導体を形成してなるものであっても良い。

【0025】前記窒化物半導体の成長後、前記保護膜を除去することにより、横方向成長した窒化物半導体の下部に空間を形成することが好ましい。空間を形成することにより、その後の素子形成工程における隙間部の認識を容易にし、また、熱膨張係数の異なる異種基板と窒化物半導体の間に発生する歪を緩和して、窒化物半導体基板の反りを抑制することができる。尚、支持基板の構造及び組成、保護膜の材質、形状及び除去方法の好ましい態様は、上記第1の発明と同様である。

【0026】また、本件第1発明又は第2発明により得られた低転位密度の窒化物半導体層の上に、ハライド気相成長法（以下、「HVPE法」）により厚膜の窒化物半導体層を成長して転位を分散させ、さらに、本件第1発明又は第2発明と同様の方法により窒化物半導体層を成長させても良い。本件第1発明又は第2発明により得られた窒化物半導体層は、保護膜の窓部上方に転位が残存している。この転位を厚膜のHVPE成長窒化物半導体層によって分散させることにより、全体に低転位密度な窒化物半導体層が得られる。この窒化物半導体層をベースとして、本件第1発明又は第2発明に基づく成長を行うことにより、一層転位密度の低い窒化物半導体基板を得ることができる。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、図を用いて本発明を更に詳細に説明する。

実施の形態1. 本実施の形態においては、本件第1の発明に係る窒化物半導体基板について説明する。図1

(a)～図1(d)は、第1の発明に係る窒化物半導体基板の製造方法の一例を段階的に示した模式図である。

【0028】図1(a)は異種基板1上に、窒化物半導体を成長させ、さらに保護膜のストライプを形成させる工程を行った模式的断面図である。この異種基板1とし

ては、C面、R面、及びA面のいずれかを主面とするサファイア、スピネル ($MgAl_2O_4$) のような絶縁性基板、SiC (6H、4H、3C)、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等を用いることができる。

【0029】また、異種基板1上に窒化物半導体2を成長させる前に、異種基板1上にバッファ層（図示されていない）を形成してもよい。バッファ層としては、AlN、GaN、AlGaN、InGaN等が用いられる。

10 バッファ層は、900℃以下300℃以上の温度で、膜厚0.5μm～10オングストロームで成長される。これは異種基板1と窒化物半導体2との格子定数不整を緩和するためであり、結晶欠陥を低減させる点で好ましい。

【0030】さらに、異種基板1上に形成される窒化物半導体2としては、アンドープのGaN、及びSi、Ge、SnおよびS等のn型不純物をドーブしたGaNを用いることができ、窒化物半導体2は、900℃～1100℃で異種基板上に成長され、窒化物半導体2の膜厚は、1.5μm以上であると結晶表面にピットの少ない、鏡面を形成できる点で好ましい。また、窒化物半導体2として、 GaN と $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 1$ 、好ましくは $0 < x \leq 0.5$)との積層、又は GaN と $In_yGa_{1-y}N$ ($0 < y \leq 1$)との積層を用いても良い。これらを用いることにより、GaN層と $Al_xGa_{1-x}N$ 層との間の熱膨張係数差により生ずる応力や、 $In_yGa_{1-y}N$ の低い膜強度を利用して、異種基板1の除去を容易にすることができる。この場合のGaN、 $Al_xGa_{1-x}N$ 又は $In_yGa_{1-y}N$ は、アン

30 ドープであっても、n型不純物をドーブしたものであっても良い。

【0031】次に、窒化物半導体2の表面上に部分的に形成される保護膜3としては、保護膜表面に窒化物半導体が成長しないか、若しくは成長しにくい性質を有する材料を選択する。好ましくは、酸化ケイ素 (SiO_x)、窒化ケイ素 (Si_xN_y)、酸化チタン (TiO_x)、酸化ジルコニウム (ZrO_x) 等の酸化物、窒化物、またはこれらの多層膜を用いることができる。また、上記以外にも1200℃以上の融点を有する金属、例えばタングステンやモリブデンなどの材料も用いることができる。

40

【0032】この保護膜3の形成方法としては、CVD、スパッタリング、及び蒸着法を用い、保護膜3を形成し、さらに、レジストを塗布して、フォトリソグラフィにより保護膜を所定の形状であるストライプ状又は格子状等にエッチングする。保護膜をストライプ状又は格子状にエッチングすることにより、保護膜にストライプ状又は島状の窓部が形成される。また逆に、保護膜3を島状に残して保護膜3に格子状の窓部を形成しても良い。所定形状を有する保護膜のストライプ幅及び、格子

幅としては、特に限定されないが、ストライプで形成した場合、ストライプ幅は $5 \sim 20 \mu\text{m}$ であるのが好ましい。また、保護膜3が形成されていない窓部は、ストライプ幅よりも狭くすることが望ましい。保護膜を格子状に形成する場合の格子幅は $10 \sim 20 \mu\text{m}$ であるのが好ましい。保護膜3を島状に残して格子状の窓部を形成する場合、島状の保護膜の幅は $10 \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $5 \mu\text{m}$ 以下とし、格子状の窓部の幅を $10 \sim 30 \mu\text{m}$ 、好ましくは $10 \sim 20 \mu\text{m}$ とするのが望ましい。

【0033】次に、保護膜の膜厚としては、第1の窒化物半導体を保護膜上に完全に覆うように成長させる必要がないため、特に限定する必要がなく、 $0.05 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲で形成することができる。

【0034】エッチング後の基板の上面図を、図2

(a)～(c)及び図3(a)～(c)に示す。図2

(a)は、窒化物半導体2上に形成される保護膜3をストライプ状にエッチングした場合を示す。図2(b)及び(c)は、保護膜3を格子状に残してエッチングして、島状の窓部を形成した場合を示す。島状の窓部は、図2(b)及び図2(c)に示すような多角形(三角形、四角形、六角形等)であっても、円形であっても良い。

【0035】一方、図3(a)～(c)は、保護膜3を島状に残して、格子状の窓部を形成した場合を示す。保護膜3の形状は、図3(a)及び(c)に示すような多角形(三角形、四角形、六角形等)であっても、図3

(b)に示すような円形であっても良い。保護膜3同士は、できるだけ一定の間隔で、かつ、密になるように配列することが好ましい。例えば、図3(a)では、六角形の保護膜3が蜂の巣状に配列されており(各六角形が隣り合う六角形と辺同士が対向するよう配置され、1つの六角形が6つの六角形によって囲まれた配列)、図3(c)では、1つの三角形が隣り合う三角形と辺同士が対向するよう配置され、6つの三角形で1つの六角形を構成し、該六角形が蜂の巣状に配列されている。これらの配列によれば、保護膜3同士の間隔(=窓部の幅)を一定にでき、また、保護膜3の密度を高めることができる。尚、保護膜3は、窒化物半導体2が周期的に現れていればよく、図2及び3に示す形状には限定されない。

【0036】保護膜3に形成する窓部を、図2(b)及び(c)に示すような島状、又は図3(a)～(c)に示すような格子状にすることは、次に成長させる第1の窒化物半導体4の成長方向(図中、矢印)が多方向となるため、第1の窒化物半導体層4から下の支持基板の剥離が容易となる利点がある。

【0037】また、図3に示すように保護膜を島状に残して、格子状の窓部を形成することには、後で成長する第2の窒化物半導体層5の接合部が保護膜3の中心1点だけとなるため、比較的転位が集中し易い接合部の面積を最小限に抑制することができる利点がある。

【0038】また、保護膜をストライプ状に形成する場合に、ストライプを図4に示すように、オリフラ面をサファイアのA面とし、このオリフラ面の垂直軸に対して左右どちらかに、 $\theta = 0.1 \sim 1^\circ$ ずらして形成すると、成長面がより平坦で良好な結晶が得られる。

【0039】次に、図1(b)に示すように、保護膜の窓部より窒化物半導体2を核として、第1の窒化物半導体4を成長させ、第1の窒化物半導体4が保護膜3上に横方向の成長をする時、完全に保護膜3を覆う前に成長を止める。このようにして成長された第1の窒化物半導体4の断面形状は、図1(b)に示すように、周期配列されたT字状となる。ここで、保護膜3を形成された窒化物半導体2の上に成長させる第1の窒化物半導体4としては、特に限定されないが、Ga_{0.5}N_{0.5}よりなる窒化物半導体が挙げられる。この第1の窒化物半導体4としては、ノンドープまたは、p型不純物、n型不純物をドープしてもよい。また、第1の窒化物半導体4の好ましい膜厚は、保護膜3の膜厚、大きさによっても異なる。保護膜の表面を横方向に成長させた結晶性のいい部分を有する必要があるため、第1の窒化物半導体4は、保護膜の膜厚に対して少なくとも1.5倍以上であり、 $1.5 \sim 2 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させるのが好ましい。

【0040】次に、図1(c)に示すように、第1の窒化物半導体4を保護膜3上に横方向成長させ、成長を途中で止めた状態で、保護膜を除去する。この保護膜3の除去方法としては、エッチングを用いることができ、エッチング手段としては、特に限定されないが、ドライエッチングまたはウェットエッチングが挙げられる。等方性ドライエッチングであれば、エッチングの制御を容易に行うことができる。

【0041】ここで、保護膜を除去することにより第1の窒化物半導体4の横方向に成長した結晶欠陥の少ない部分の下部に空間を形成することができる。このため、第1の窒化物半導体4上に成長させる窒化物半導体において、第1の窒化物半導体の横方向成長により形成された側面からの成長時に保護膜との間に発生する応力を抑制させることができる。

【0042】次に、図1(d)に示すように、保護膜3を除去した第1の窒化物半導体4上に、第1の窒化物半導体4の上面及び側面より第2の窒化物半導体5を成長させる。

【0043】第2の窒化物半導体5としては、アンドープのGa_{0.5}N_{0.5}、およびSi、Ge、Sn、S等のn型不純物をドープしたGa_{0.5}N_{0.5}、またはMg等のp型不純物をドープしたGa_{0.5}N_{0.5}を用いることができ、第2の窒化物半導体5は、 $900 \sim 1100^\circ\text{C}$ で成長される。中でも、Mgをドープして第2の窒化物半導体5を成長させると、第2の窒化物半導体層5が横方向に伸び易くなり、第1の窒化物半導体4の隙間を埋め易くなるため好ましい。

他方、アンドープとすると電気的特性が安定する。ま

た、第2の窒化物半導体5は空間上を成長するため、保護膜上の成長では選択性が低いために用いることができなかった $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)を用いることもできる。また、第2の窒化物半導体5の膜厚としては、 GaN の場合は $3 \sim 20 \mu\text{m}$ 、好ましくは $5 \sim 20 \mu\text{m}$ であるのが望ましく、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ の場合は $2 \sim 15 \mu\text{m}$ が好ましい。

【0044】さらに、第2の窒化物半導体5として適当な多層膜を用いてもよい。多層膜の層数及び膜厚は特に限定されず、バルクを2ペア積層したものであっても、多数の薄膜を積層した超格子であっても良い。各層の膜厚は、 $10 \text{ \AA} \sim 2 \mu\text{m}$ が好ましい。第2の窒化物半導体5を多層膜とすることにより、多様な機能の層、例えば、n型コンタクト層、n型クラッド層等と兼用することができる。その結果、窒化物半導体基板の総厚を薄くすることができ、基板の反りを緩和することができる。また、第2の窒化物半導体5を多層膜とすることにより、転位の縦方向の進行を抑制することができる。例えば、 $\text{GaN}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)多層膜を用いると、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ は横方向成長を促進する条件で成長させることができるため、転位の貫通を抑制することができ有利である。例えば、 GaN と $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ のペアを各々 200 \AA の膜厚で50サイクル繰り返して超格子として成長し、第2の窒化物半導体5とする。

【0045】ここで第2の窒化物半導体5は、横方向の成長により得られた結晶性のよい第1の窒化物半導体の上面及び側面より成長させるため、保護膜が形成されていた部分上に成長する第2の窒化物半導体は結晶欠陥がなくなり、保護膜3の窓部上部に成長した窒化物半導体にはのみ結晶欠陥が残る。尚、図1(d)では、第2の窒化物半導体層5が、第1の窒化物半導体層4の上面及び横方向成長した側面を核として成長する例を示したが、第2の窒化物半導体層5を、第1の窒化物半導体層4の上面のみから成長させても良い。また、第2の窒化物半導体層5が、第1の窒化物半導体層4の上面から成長する場合、保護膜3を除去しなくても第2の窒化物半導体層5は空間上で接合することとなるため、保護膜3の除去工程を省略することもできる。

【0046】また、図5に示すように、保護膜3を窒化物半導体2が露出するまで完全に除去することにより、基板上に反応素子を成長させる時に SiO_2 等の保護膜が、 1000°C 以上の温度で分解拡散して保護膜上の窒化物半導体に入ることを防止することができる。したがって、分解した SiO_2 が窒化物半導体に入って結晶性を低下させたり、異常成長を引き起こすといった問題点を解決することができる。さらに、第2の窒化物半導体を、保護膜を完全に除去した状態で第1の窒化物半導体の上面及び側面から成長させる場合でも、第2の窒化物半導体上には、空間が残り結晶欠陥の多い窒化物半導体

2からの結晶欠陥の伝播を抑えることができる。

【0047】また、図6に示すように、保護膜3を窒化物半導体2が露出するまで除去して、第1の窒化物半導体4の横方向に成長した部分の下方に保護膜3を一部残していても良い。この場合でも、基板上に反応素子を成長させる時に SiO_2 等の保護膜が、 1000°C 以上の温度で分解拡散することにより保護膜上の窒化物半導体に入り結晶性を低下させ異常成長等を引き起こす問題点を解決することができる。

10 【0048】尚、図5及び図6に示す態様では、保護膜3から露出した窒化物半導体層2の表面が工程中に分解し、窒化物半導体層2にV字状の溝が形成され易い。図13に、図6の態様により形成された窒化物半導体基板の接合部の詳細を示す。図13に示すように、第2の窒化物半導体層5の接合部5a下方において、保護膜3が除去されて露出した窒化物半導体2が分解し、その表面に浅いV字状の溝2aが形成される。この窒化物半導体2の分解によるV字状溝の形成は、第1及び第2の窒化物半導体層4及び5の汚染の原因となり得る。しかし一方、V字状溝2aの形成は、支持基板の剥離容易性の向上に寄与しており、また、第2の窒化物半導体5の接合部5aでの転位発生の抑制にも寄与していると思われる。V字状溝2aを積極的に形成するには、窒化物半導体層2の表面が窒化ガリウム又は窒化インジウムガリウムであることが好ましい。V字状溝2aの形成を抑制するには、窒化物半導体層2の表面が窒化アルミニウムガリウムであることが好ましい。

30 【0049】また、図7に示すように、異種基板1上に窒化物半導体2を成長させず、保護膜3を成長させることにより窒化物半導体基板を得ることもできる。

【0050】本実施の形態における窒化物半導体基板によれば、窒化物半導体の接合部における転位の集中が緩和されており、接合部の認識が容易で、反りも抑制されているので、半導体レーザなどの窒化物半導体素子の製造が容易となる。半導体レーザ素子を製造する場合、半導体レーザ素子の横モード制御のためのストライプ構造は、電流及び/又は光が閉じ込められる活性領域が第1の窒化物半導体層4の成長起点となった領域と、第2の窒化物半導体層5の接合部とを避けて、これらの間に位置するように形成することが好ましい（これらの間における欠陥密度は、 1×10^7 個/ cm^2 以下とできる）。なぜなら、横方向成長した第1の窒化物半導体4の成長起点となった領域、即ち保護膜3の窓部の領域は転位密度が高く、また、第2の窒化物半導体5同士が接合する部分も従来よりも転位が大巾に抑制されているとは言え、その他の領域に比べて転位密度が高いためである。例えば、リッジ導波路型半導体レーザの場合にはリッジ部を、埋め込みヘテロ型半導体レーザの場合には埋めこまれたストライプ部を、第1の窒化物半導体層4の成長起点となった領域と第2の窒化物半導体層5の接合

部とを避けて、これらの間に位置するように形成する。尚、第2の窒化物半導体5同士の接合部における転位の集中が従来よりも大巾に緩和されているため、半導体レーザ素子のストライプ構造をより接合部に近い位置に形成することが可能であり、また、レーザ素子の寿命も向上する。

【0051】実施の形態2. 本実施の形態においては、本件第2の発明に係る窒化物半導体基板について説明する。図8(a)～(c)は、第2の発明に係る窒化物半導体基板の製造方法の一例を示す。図8(a)～(c)の工程は、実施の形態1における図1(a)～(c)と同様であり、図1(a)～(c)について説明した製造条件を同様に適用することができる。図8(a)は、異種基板1上に、窒化物半導体を成長させ、さらに保護膜のストライプを形成させる工程を行った模式的断面図である。異種基板1上に窒化物半導体2を成長させる前に、異種基板1上にバッファ層(図示されていない)を形成してもよい。

【0052】次に、図8(b)に示すように、保護膜の窓部より窒化物半導体2を核として、第1の窒化物半導体4を成長させ、第1の窒化物半導体4が保護膜3上に横方向の成長をする時、隣接する窓部から成長した第1の窒化物半導体層4同士が互いに接合して完全に保護膜3を覆う前に成長を止める。

【0053】図8(b)の状態でも窒化物半導体基板として使用することは可能であるが、さらに、図8(c)に示すように、第1の窒化物半導体4を保護膜3上に横方向成長させ、成長を途中で止めた状態で、保護膜3を完全に除去することが好ましい。保護膜3を窒化物半導体2が露出するまで完全に除去することにより、基板上に反応素子を成長させる時にSiO₂等の保護膜が、1000℃以上の温度で分解拡散することにより保護膜上の窒化物半導体に入ること防止できる。したがって、分解したSiO₂が窒化物半導体に入って結晶性を低下させたり、窒化物半導体の異常成長を引き起こすといった問題点を解決することができる。また、保護膜3を除去することにより、素子形成後に第1の窒化物半導体層4の下方に空間が形成されることになるため、隙間部分4aを認識しながら素子パターンの形成を行うことができる。さらに、異種基板1と窒化物半導体層4の間の歪を緩和して窒化物半導体基板の反りを抑制することができる。

【0054】こうして形成された窒化物半導体基板は、横方向成長された窒化物半導体層4が互いに接合しておらず、T字状の断面を有する窒化物半導体層4が周期的に配列した構造となる。即ち、基板の最上層にある窒化物半導体層4同士の間には隙間4aが存在するが、このように連続した板になっていない窒化物半導体層の上であっても、素子形成用の窒化物半導体層を平坦にエピタキシャル成長させることが可能である。

【0055】図9(a)～(b)は、図8の方法によって得られた窒化物半導体基板の上に素子形成層をエピタキシャル成長させて窒化物半導体素子を製造する工程を示す模式図である。まず、図9(a)に示すように、図8の方法によって得られた窒化物半導体基板を気相エピタキシャル成長装置に導入し、基板温度を窒化物半導体の成長に適した900～1200℃程度に昇温する。この昇温過程において、従来の横方向成長基板では、窒化物半導体の成長温度に達する前に転位の集中する横成長接合部において窒素脱離が進行し、窒化物半導体基板表面にピットが発生していたが、本実施の形態における窒化物半導体基板では、横成長した窒化物半導体層4が互いに接合していないためピットの発生がない。

【0056】次に、図9(b)に示すように、窒化物半導体基板の上に、直接、n型コンタクト層6を形成し、さらにn型クラッド層、活性層、p型クラッド層などを含む窒化物半導体層7及び8を、連続的にエピタキシャル成長させる。n型コンタクト層6及びその上の窒化物半導体層7は、レーザやLED等の窒化物半導体素子を構成する。n型コンタクト層6は、厚膜に成長することにより、窒化物半導体層4の表面にある隙間を埋めて平坦に成長することができる。n型コンタクト層6には、例えば、Al_{1-x}Ga_{1-x}N(0≤x<0.5)を用いることができ、n型コンタクト層6の膜厚は、3～10μm好ましくは5～10μmとすることが望ましい。また、n型コンタクト層6を含めて全ての素子形成層の成長は、窒化物半導体の成長温度である900～1200℃を保ったまま連続的に行うことが好ましい。尚、窒化物半導体基板の上に直接n型コンタクト層6を形成する代りに、窒化物半導体基板の上にGaN等の窒化物半導体から成るバッファ層を900～1200℃で成長させた後に、n型コンタクト層6を形成しても良い。また、直接n型コンタクト層6を形成する代りに、Mgをドーブした窒化物半導体層(好ましくは、GaN層)を最初に形成した後にn型コンタクト層6を形成しても良い。Mgをドーブした窒化物半導体層は横方向に成長し易いため、窒化物半導体基板の隙間部4aを効率良く埋めることができる。

【0057】また、n型コンタクト層6と窒化物半導体層7及び8によって半導体レーザ素子を構成する場合、半導体レーザ素子の横モード制御のためのストライプ構造は、電流及び/又は光が閉じ込められる活性領域が窒化物半導体層4の成長起点となった領域と窒化物半導体層4の隙間4aの中心とを避けて、これらの間に位置するように形成することが好ましい(これらの間における欠陥密度は、1×10⁷個/cm²以下とできる)。なぜなら、横方向成長した窒化物半導体4の成長起点となった領域、即ち保護膜3の窓部の領域は転位密度が高く、窒化物半導体4同士の隙間4aの中心も、他の領域に比べればやや転位密度が高いためである。例えば、リ

リッジ導波路型半導体レーザの場合にはリッジ部を、埋め込みヘテロ型半導体レーザの場合には埋めこまれたストライプ部を、窒化物半導体層 4 の成長起点となった領域と窒化物半導体層 4 の隙間 4 a の中心とを避けて、これらの間に位置するように形成する。

【0058】尚、図 8 (c) に示したように、 SiO_2 などの保護膜 3 は、窒化物半導体 2 が露出するまで完全に除去することが好ましいが、図 10 に示すように、第 1 の窒化物半導体 4 の横方向に成長した部分の下方に保護膜 3 が一部残っていても良い。この場合でも、基板上に反応素子を成長させる時に SiO_2 等の保護膜が、1000℃以上の温度で分解拡散することにより保護膜 3 上の窒化物半導体 6 及び 7 に入り結晶性を低下させ異常成長等を引き起こす問題点を解決することができる。

【0059】また、図 11 に示すように、異種基板 1 上に窒化物半導体 2 を成長させず、直接第 1 の窒化物半導体層 4 を横方向成長させ、異種基板全面を覆う前に止めることにより窒化物半導体基板を製造することもできる。

【0060】尚、窒化物半導体層 2 の組成、保護膜 3 の材質、形状及び除去方法の好ましい態様は、実施の形態 1 と同様である。

【0061】実施の形態 3. 図 12 (a) 及び (b) は、本発明の実施の形態 3 に係る窒化物半導体基板を示す模式断面図である。本実施の形態では、実施の形態 1 又は 2 の方法により得られた低転位密度の窒化物半導体層 (以下、「第 1 の横方向成長」) の上に、HVPE 法により厚膜の窒化物半導体層 8 を成長して転位を分散させ、さらに、実施の形態 1 又は 2 と同様の方法により窒化物半導体層を成長させて (以下、「第 2 の横方向成長」) 窒化物半導体基板を構成する。

【0062】第 1 及び第 2 の横方向成長は、実施の形態 1 又は実施の形態 2 で示した成長方法のいずれでも良い。また、その組み合わせも任意であり、全部で 4 通りの組み合わせが可能である。以下、そのうちの 2 通りについて図 12 (a) 及び図 12 (b) を参照しながら説明する。

【0063】図 12 (a) は、第 1 の横方向成長を実施の形態 1 と同様の方法により行い、第 2 の横方向成長を実施の形態 2 と同様の方法により行った例を示す。サファイア等の異種基板 1 の上に、窒化物半導体層 2、第 1 の窒化物半導体層 4 及び第 2 の窒化物半導体層 5 を形成するまでは実施の形態 1 と同様である。そして、第 2 の窒化物半導体層 5 の上に、厚膜に成長させた HVPE 層 8 を形成する。第 2 の窒化物半導体層 5 のうち保護膜 3 の窓部上方にあたる領域 5 b には転位が特に集中して存在するが、HVPE 層 8 を厚膜に形成することにより、転位が HVPE 層 8 の全体に均一に分散する。そして、HVPE 層 8 の上に、実施の形態 2 と同様の方法によって T 字状断面を有する窒化物半導体層 4' を形成し、さ

らに素子形成層 6 及び 7 を形成する。

【0064】図 12 (b) は、第 1 の横方向成長を実施の形態 2 と同様の方法により行い、第 2 の横方向成長を実施の形態 1 と同様の方法により行った例を示す。サファイア等の異種基板 1 の上に、窒化物半導体層 2、T 字状断面を有する窒化物半導体層 4 を形成するまでは実施の形態 2 と同様である。そして、T 字状断面を有する窒化物半導体層 4 の上に、厚膜に成長させた HVPE 層 8 を形成する。窒化物半導体層 4 のうち保護膜 3 の窓部上方にあたる領域 4 b には転位が特に集中して存在するが、HVPE 層 8 を厚膜に形成することにより、転位が HVPE 層 8 の全体に均一に分散する。そして、HVPE 層 8 の上に、実施の形態 1 と同様の方法によって第 1 の窒化物半導体層 4' 及び第 2 の窒化物半導体層 5' を形成し、さらに素子形成層 6 及び 7 を形成する。

【0065】本実施の形態によれば、第 1 の横方向成長により得られた窒化物半導体層に残存した転位を厚膜の HVPE 成長窒化物半導体層 8 によって均一に分散させ、この窒化物半導体層 8 をベースとして第 2 の横方向成長を行うことにより、一層転位密度の低い窒化物半導体基板を得ることができる。尚、HVPE 層 8 は、欠陥をより均一に分散させる観点からは、厚い方が有利であり、少なくとも $10\mu\text{m}$ 以上、好ましくは $50\mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは $200\mu\text{m}$ 以上、最も好ましくは $400\mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。

【0066】本発明の窒化物半導体基板の製造方法において、窒化物半導体 2、第 1 の窒化物半導体 4、及び第 2 の窒化物半導体 5 等の窒化物半導体を成長させる方法としては、特に限定されないが、MOVPE (有機金属気相成長法)、HVPE (ハライド気相成長法)、MBE (分子線エビタキシー法)、MOCVD (有機金属化学気相成長法) 等の方法を適用できる。

【0067】保護膜の窓部を形成、または保護膜を除去する場合のエッチング方法としては、ウェットエッチング、ドライエッチング等の方法があり、保護膜の窓部を形成する場合には異方性エッチングが好ましく、保護膜を除去する場合には等方性エッチングを用いることが好ましい。

【0068】

【実施例】以下に本発明の実施例を示すが本発明はこれに限定されない。

【実施例 1】C 面を主面とし、オリフラ面を A 面とするサファイア基板 1 を用い、MOCVD 法により、温度を 510°C 、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアと TMG (トリメチルガリウム) とを用い、サファイア基板 1 上に GaN よりなるバッファ層を 200 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0069】バッファ層成長後、TMG のみ止めて、温度を 1050°C まで上昇させ、 1050°C になったら、原料ガスに TMG、アンモニア、シランガスを用い、ア

ンドープGaNよりなる窒化物半導体2を、 $2.5\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。その窒化物半導体2の上にCVD法により SiO_2 よりなる保護膜を、 $0.5\mu\text{m}$ の膜厚で成膜し、ストライプ状のフォトリソマスクを形成し、エッチングによりストライプ幅 $14\mu\text{m}$ 、窓部 $6\mu\text{m}$ の SiO_2 よりなる保護膜3を形成する。なお、この保護膜3のストライプ方向はサファイアA面に対して垂直な方向とする。

【0070】次に、MOCVD法により、減圧条件で温度を 1050°C にして、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、GaNよりなる第1の窒化物半導体4を $2\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この時、第1の窒化物半導体4は、 SiO_2 保護膜の窓部より成長し、この保護膜上に横方向成長させ、第1の窒化物半導体が完全に SiO_2 保護膜を覆う前に成長を止める。隣接する第1の窒化物半導体層同士の隙間は、約 $2\mu\text{m}$ とする。

【0071】次に、ドライエッチングである等方性エッチングにより、温度 120°C で、エッチングガスに酸素、 CF_4 を用い、 SiO_2 保護膜3を $0.3\mu\text{m}$ 取り除く。

【0072】さらに、横方向成長させた第1の窒化物半導体の側面および上面より、常圧でMOCVD法により、温度を 1050°C にし、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、GaNよりなる第2の窒化物半導体5を $15\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。尚、常圧でなく、減圧で第2の窒化物半導体5を成長しても良い。

【0073】得られた第2の窒化物半導体5の表面を、CL（カソードルミネセンス）により観測すると、保護膜の窓部上部には結晶欠陥が見られたが、保護膜が形成されていた上部に成長させた第2の窒化物半導体5の表面には結晶欠陥が殆ど見られず良好な結晶性を有している。結晶欠陥の数は、約 $6 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ であった。

【0074】【実施例2】C面を主面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板1を用い、MOCVD法により、温度を 510°C 、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、サファイア基板1上にGaNよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0075】バッファ層成長後、その上にCVD法により SiO_2 よりなる保護膜を、 $0.5\mu\text{m}$ の膜厚で成長させ、ストライプ状のフォトリソマスクを形成し、エッチングによりストライプ幅 $14\mu\text{m}$ 、窓部 $6\mu\text{m}$ の SiO_2 よりなる保護膜を形成する。なお、この保護膜3のストライプ方向はサファイアA面に対して垂直な方向とする。

【0076】次に、MOCVD法により、減圧条件で温度を 1050°C にして、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、GaNよりなる第1の窒化物半導

体4を $2\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この時、第1の窒化物半導体4は、 SiO_2 保護膜の窓部より成長し、この保護膜上に横方向成長させ、第1の窒化物半導体が完全に SiO_2 保護膜を覆う前に成長を止める。隣接する第1の窒化物半導体層同士の隙間は、約 $2\mu\text{m}$ とする。

【0077】次に、等方性エッチングにより、温度 120°C で、エッチングガスに酸素、 CF_4 を用いて SiO_2 保護膜3を $0.3\mu\text{m}$ 取り除く。

【0078】さらに、MOCVD法により、第1の窒化物半導体の側面および上面より、常圧条件で温度 1050°C で、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、GaNよりなる第2の窒化物半導体を $15\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0079】得られた第2の窒化物半導体5の表面を、CL（カソードルミネセンス）により観測すると、実施例1と同様の結果が得られた。

【0080】【実施例3】実施例1において、保護膜を第1の窒化物半導体が露出するまでエッチングする他は同様にして第2の窒化物半導体を成長させる。その結果、実施例1とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【0081】【実施例4】実施例2において、保護膜を異種基板であるサファイアが露出するまでエッチングする他は同様にして第2の窒化物半導体を成長させる。その結果、実施例2とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【0082】【実施例5】実施例2において、サファイアに直接保護膜を形成した後、バッファ層を成長する他は、実施例2と同様にして第2の窒化物半導体を成長させる。即ち、C面を主面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板1を用い、その上にCVD法により SiO_2 よりなる保護膜を、 $0.5\mu\text{m}$ の膜厚で成長させ、ストライプ状のフォトリソマスクを形成し、エッチングによりストライプ幅 $14\mu\text{m}$ 、窓部 $6\mu\text{m}$ の SiO_2 よりなる保護膜を形成する。なお、この保護膜3のストライプ方向はサファイアA面に対して垂直な方向とする。

【0083】次に、MOCVD法により、温度を 510°C 、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、サファイア基板1上にGaNよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させる。次に、MOCVD法により、減圧条件で温度を 1050°C にして、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、GaNよりなる第1の窒化物半導体4を $15\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0084】この場合、バッファ層は、サファイア上だけでなく、 SiO_2 保護膜上にも若干成長するが、 SiO_2 上のバッファ層は膜質が悪いので、第1の窒化物半導体4は、バッファ層のうちサファイア上に成長した部分（ SiO_2 の窓部）のみから成長を開始して、実施例2と同様に横方向に成長する。この結果、実施例2と同

様に良好な結果が得られる。

【0085】【実施例6】実施例1において、図6に示すように、保護膜3のエッチングを窒化物半導体2が露出するまで行いながら、第1の窒化物半導体4の横方向に成長した傘状部分の下方に保護膜3を柱状に残す他は同様にして窒化物半導体基板を成長させる。第1の窒化物半導体4の両脇に残る保護膜3の幅は片側約 $3.5\mu\text{m}$ とする。保護膜3のエッチングは、異方性エッチングにより、温度 200°C でエッチングガスに CHF_3 を用いて行う。得られた第2の窒化物半導体5の表面を、CL（カソードルミネセンス）により観測した結果を図14（a）に示す。保護膜3の窓部上部には結晶欠陥が見られたが、保護膜が形成されていた上部に成長させた第2の窒化物半導体5の表面には、接合部を除いて殆ど結晶欠陥が見られず良好な結晶性を有しており（結晶欠陥の数は、約 $6 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ ）、接合部における結晶欠陥もごく僅かで従来よりも飛躍的に減少している。

【0086】【実施例7】実施例6において、保護膜3のパターンを図3（a）に示すような蜂の巣状とする他は同様にして窒化物半導体基板を成長させる。保護膜3は、図3（a）に示す六角形の辺がサファイア基板のオリエンテーションフラット面（A面）に平行になるように配列し、六角形の直径 a を $20\mu\text{m}$ 、六角形同士の間隔 b を $5\mu\text{m}$ とする。この結果、保護膜3が形成されていた上部に成長させた第2の窒化物半導体層の表面には保護膜3の六角形中心にわずかな結晶欠陥が見られた他は全く結晶欠陥が見られず、良好な結晶性を有している。

【0087】【実施例8】実施例6において、第1及び第2の窒化物半導体層4及び5のドーパントを変える他は同様にして窒化物半導体基板を成長させる。第1の窒化物半導体層4は、不純物をドーピングせずに成長させ、第2の窒化物半導体層5は、 SiH_4 を原料ガスに加えて成長させてSiをドーピングした。その結果、実施例6とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【0088】【実施例9】実施例8において、第2の窒化物半導体層5のドーパントを変える他は同様にして窒化物半導体基板を成長させる。第2の窒化物半導体層5は、 CP_2Mg を原料ガスに加えて成長させてMgをドーピングした。その結果、実施例8とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【0089】【実施例10】実施例8において、第2の窒化物半導体層5のドーパントを変える他は同様にして窒化物半導体基板を成長させる。第2の窒化物半導体層5は、 SiH_4 及び CP_2Mg を原料ガスに加えて成長させてSiとMgをドーピングした。その結果、実施例8とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【0090】【実施例11】実施例8において、第2の窒化物半導体層5のドーパントを変える他は同様にして窒化物半導体基板を成長させる。第2の窒化物半導体層5

は、不純物をドーピングせずに成長させた。その結果、実施例8とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【0091】【比較例1】C面を主面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板1を用い、MOCVD法により、温度を 510°C 、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）を用い、サファイア基板1上にGaNよりなるバッファ層を 200\AA の膜厚で成長させる。

【0092】バッファ層成長後、TMGのみ止めて、温度を 1050°C まで上昇させ、 1050°C になったら、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、アンドープGaNよりなる窒化物半導体2を $2.5\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。その窒化物半導体2の上にCVD法により SiO_2 よりなる保護膜を $0.5\mu\text{m}$ の膜厚で成膜し、ストライプ状のフォトマスクを形成し、エッチングによりストライプ幅 $14\mu\text{m}$ 、窓部 $6\mu\text{m}$ の SiO_2 よりなる保護膜3を形成する。なお、この保護膜3のストライプ方向はサファイアA面に対して垂直な方向とする。

【0093】次に、MOCVD法により、減圧条件で温度を 1050°C にして、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、GaNよりなる窒化物半導体を $15\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この時、窒化物半導体は、 SiO_2 保護膜の窓部より成長し、この保護膜上に横方向成長させ、第1の窒化物半導体が完全に SiO_2 保護膜を覆うように成長させる。

【0094】得られた窒化物半導体の表面を、CL（カソードルミネセンス）により観測した結果を図14（b）に示す。保護膜の窓部上部のみならず、保護膜が形成されていた上部中央の窒化物半導体接合部にも結晶欠陥の集中が見られた。

【0095】

【発明の効果】本発明の窒化物半導体基板によれば、横方向成長した窒化物半導体層の接合部への転位の集中によるピットの発生を抑制し、また、素子形成工程における接合部の認識を容易にし、さらに、窒化物半導体基板に発生する反りを抑制することができる。また、窒化物半導体基板からの異種基板の除去が容易となる。また、保護膜のストライプ幅や格子幅を限定することなく、窒化物半導体を成長させることができるため、結晶欠陥が少ない範囲を広い範囲で形成でき、結晶性のいい部分を広範囲に有する窒化物半導体を効率よく提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1（a）～（d）は、本件第1発明における窒化物半導体基板の製造工程を模式的に示す断面図である。

【図2】 図2（a）～（c）は、保護膜のパターンを示す模式図である。

【図3】 図3(a)～(c)は、保護膜のパターンを示す模式図である。

【図4】 図4は、保護膜がストライプ形状の場合のストライプ方向がオリフラ面からわずかにはずれた状態で形成することを説明するための基板主面側の平面図である。

【図5】 図5は、本件第1発明における窒化物半導体基板の別の態様を模式的に示す断面図である。

【図6】 図6は、本件第1発明における窒化物半導体基板のさらに別の態様模式的に示す断面図である。

【図7】 図7は、本件第1発明における窒化物半導体基板のまたさらに別の態様を模式的に示す断面図である。

【図8】 図8は、本件第2発明における窒化物半導体基板の製造工程を模式的に示す断面図である。

【図9】 図9は、図8に示す窒化物半導体基板の上の素子形成を行う製造工程を模式的に示す断面図である。

【図10】 図10は、本件第2発明における別の態様

の窒化物半導体基板を用いた窒化物半導体素子を模式的に示す断面図である。

【図11】 図11は、本件第2発明におけるさらに別の態様の窒化物半導体基板を用いた窒化物半導体素子を模式的に示す断面図である。

【図12】 図12は、本件第3発明における窒化物半導体基板を模式的に示す断面図である。

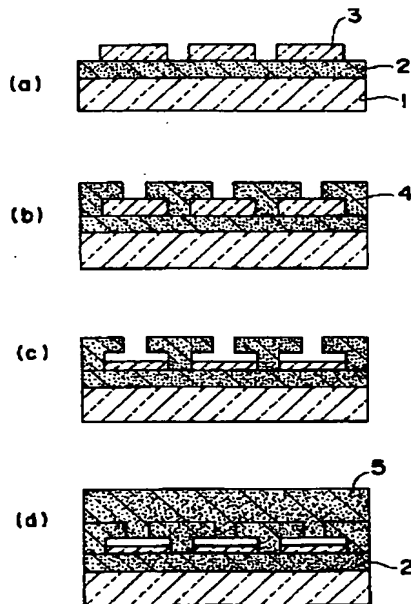
【図13】 図13は、図6に示す窒化物半導体基板の接合部近傍の詳細を示す模式断面図である。

【図14】 図14(a)及び(b)は、実施例6(図14(a))及び比較例1(図14(b))における窒化物半導体基板表面のCL観察写真である。

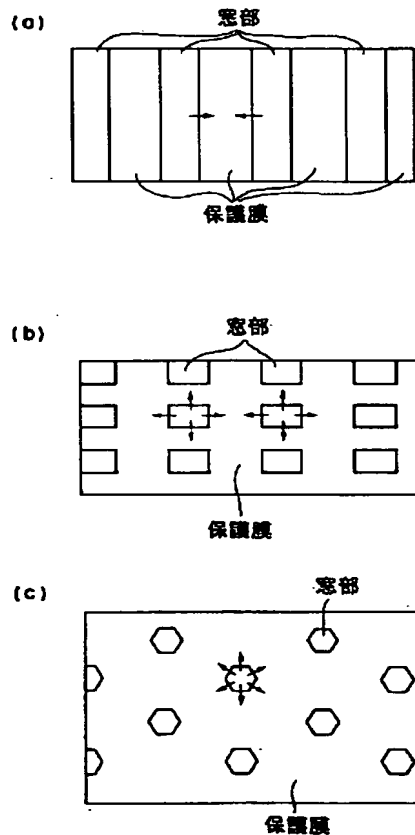
【符号の説明】

- 1・・・異種基板
- 2・・・窒化物半導体
- 3・・・保護膜
- 4・・・第1の窒化物半導体
- 5・・・第2の窒化物半導体

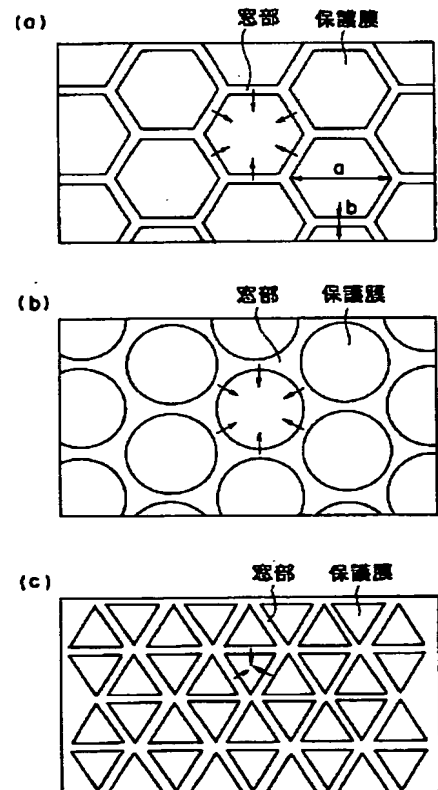
【図1】



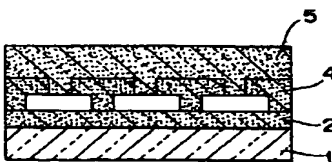
【図2】



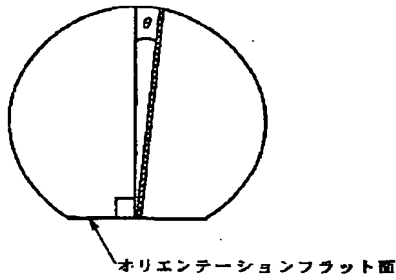
【図3】



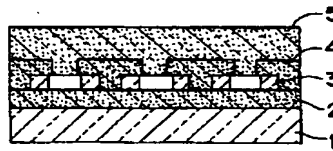
【図5】



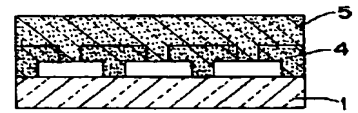
【図4】



【図6】

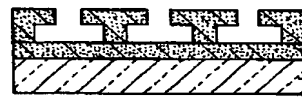


【図7】

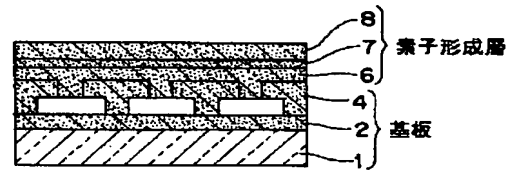


【図9】

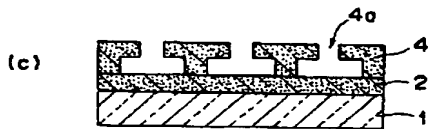
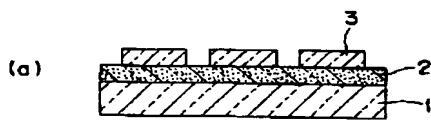
(a)



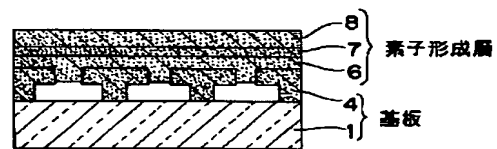
(b)



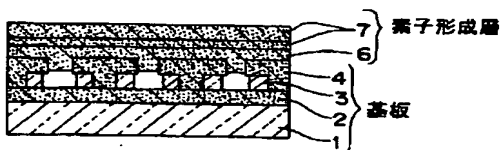
【図8】



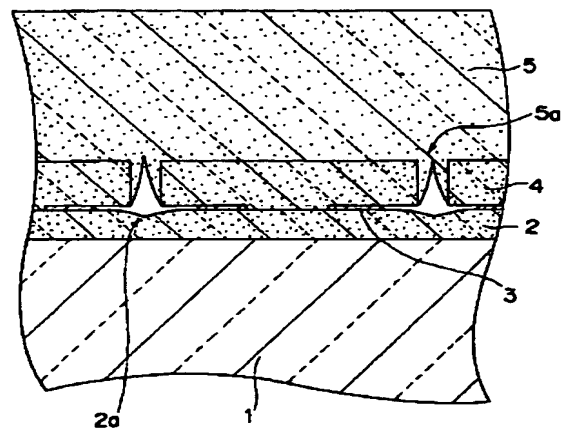
【図11】



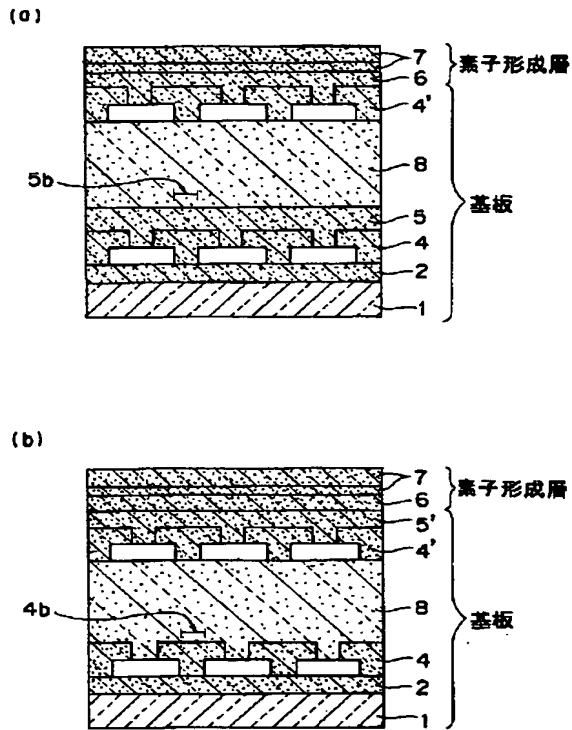
【図10】



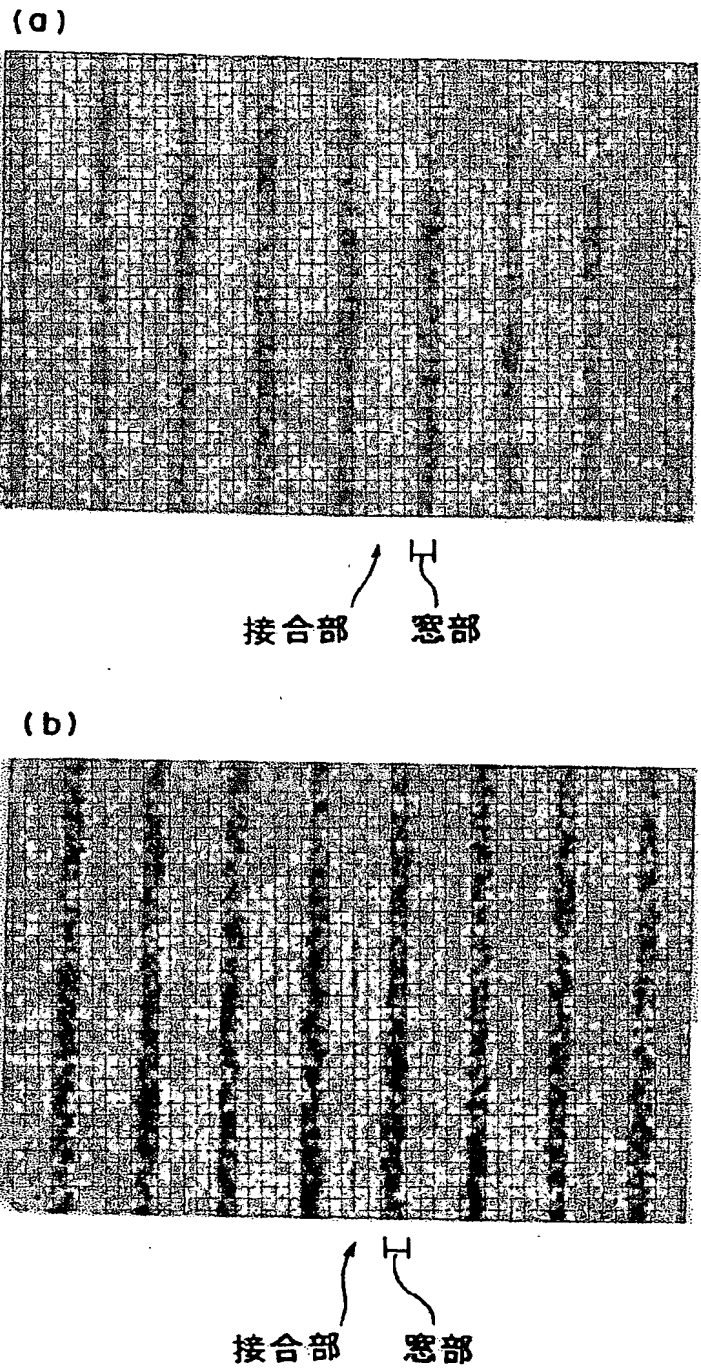
【図13】



【図12】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 小崎 徳也
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化
学工業株式会社内

(72)発明者 蝶々 一幸
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化
学工業株式会社内

F ターム(参考) 5F041 AA40 CA34 CA40 CA46 CA65
CA67
5F045 AA02 AA03 AA04 AB14 AB17
AB18 AC01 AC08 AC12 AC19
AD13 AD14 AD15 AD16 AF02
AF03 AF05 AF09 AF20 CA11
CA12 CA13 DA53 DA54 DB01
DB06
5F073 AA14 CA07 CB02 CB05 DA05
DA07